

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2950149号

(45) 発行日 平成11年(1999) 9月20日

(24) 登録日 平成11年(1999) 7月9日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

G 0 5 B 11/36

5 0 5

G 0 5 B 11/36

5 0 5 Z

B 6 5 G 43/00

B 6 5 G 43/00

A

G 0 5 B 13/02

G 0 5 B 13/02

B

19/416

G 0 5 D 3/12

3 0 6 P

G 0 5 D 3/12

3 0 6

G 0 5 B 19/407

E

請求項の数 3 (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願平6-116685

(22) 出願日

平成6年(1994) 5月30日

(65) 公開番号

特開平7-319506

(43) 公開日

平成7年(1995) 12月8日

審査請求日

平成9年(1997) 1月14日

(73) 特許権者 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者

藤吉 幸司

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 日本  
電装株式会社内

(74) 代理人

弁理士 碓氷 裕彦

審査官

小川 恭司

(56) 参考文献

特開 平3-149607 (J P, A)

特開 平1-236303 (J P, A)

特開 昭63-46506 (J P, A)

特開 昭59-174909 (J P, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 オートチューニングコントローラ

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 制御装置の制御状態を決定する制御パラメータを自動調整するオートチューニングコントローラにおいて、

実行される複数の動作プログラムによる一連の動作に必要な時間を1サイクル時間とし、前記制御装置が前記1サイクル時間を測定し、前記測定された1サイクル時間が所望の1サイクル時間になるように、前記制御パラメータのうち、少なくとも加減速に関する制御パラメータを自動調整する制御パラメータ自動調整手段を設けたことを特徴とするオートチューニングコントローラ。

【請求項2】 前記制御パラメータを複数設定可能に設け、前記複数の制御パラメータを切り換える切り換え手段を有するとともに、前記制御装置によって制御される負荷の状態に基づいて、前記切り換え手段により前記制

2

御パラメータを切り換え制御することを特徴とする請求項1に記載のオートチューニングコントローラ。

【請求項3】 前記制御装置によって制御される負荷は、負荷を搬送制御する搬送装置を含み、かつ前記搬送装置は重力によって負荷状態が変動する垂直駆動軸であることを特徴とする請求項2に記載のオートチューニングコントローラ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10 【産業上の利用分野】 本発明は、自動的にサーボ制御装置の制御状態の調整、特に位置及び速度制御パラメータの調整を行うオートチューニングコントローラに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来のオートチューニングコントローラ

では、速度制御に係わる制御パラメータを決定するオートチューニングにおいて、制御対象の特性を推定するためにステップ指令等でサーボモータを実際に動作させて、その動作特性（速度応答性）から制御対象を推定して制御パラメータを決定している（特開平３－２６８１０２号公報参照）。

#### 【０００３】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上述のオートチューニングでは、その指令に対する動作特性（速度応答性）が最適であっても、実際に組立機を動かすような一連の動作を行った場合、ユーザが目標とするサイクルタイムに動作が完了しない場合があり、再度手動で調整をし直したり、サイクルタイムを測定しながら、ユーザ指令を何度も変更したりという不具合が生じる。

【０００４】また、制御対象の制御中負荷変動等が生じて、一律の制御パラメータでは、最適な制御を実施できない場合があった。さらには従来のオートチューニングの場合、オートチューニングを実施する際の制御対象の駆動制御は、ある特定な動作のみに対して制御パラメータが設定されており、自動調整時に種々の駆動制御を選択することができなかった。

【０００５】本発明は、上記事情に基づいて成されたもので、その目的は、最適な制御特性を設定できるオートチューニングコントローラを提供することにある。

#### 【０００６】

【課題を達成するための手段】本発明は、上記目的を達成するために、制御装置の制御状態を決定する制御パラメータを自動調整するオートチューニングコントローラにおいて、実行される複数の動作プログラムによる一連の動作に必要な時間を１サイクル時間とし、前記制御装置が前記１サイクル時間を測定し、前記測定された１サイクル時間が所望の１サイクル時間になるように、前記制御パラメータのうち、少なくとも加減速に関する制御パラメータを自動調整する制御パラメータ自動調整手段を設けるという技術的手段を採用するものである。

#### 【０００７】

#### 【０００８】

#### 【０００９】

【発明の作用及び効果】制御パラメータ調整手段は測定された１サイクル時間が所望の１サイクル時間になるように、制御パラメータのうち、少なくとも加減速に関する制御パラメータを自動調整する。そのため、加減速に関する制御パラメータという指令パターンの形状そのもののまでも調整することにより、一連の動作を的確に所望の１サイクル時間に調整することができるという優れた効果がある。

#### 【００１０】

#### 【００１１】

#### 【００１２】

【実施例】次に、本発明のオートチューニングコントロ

ーラの一実施例を図１および図２に基づいて説明する。図１はオートチューニングコントローラにより制御されるシステムの全体構成を示す図である。

【００１３】１００は、対象物を直線方向に往復移動させる１軸ロボット４０を制御するオートチューニングコントローラである。オートチューニングコントローラ１００によって駆動制御されるＡＣサーボモータ２０は、１軸ロボット４０の駆動軸を駆動するために１軸ロボット４０内に設置され、ＡＣサーボモータ２０の回転駆動電流等を供給するモータパワーケーブル２１と、ＡＣサーボモータ２０の位置を検出するエンコーダの信号を入力するためのエンコーダケーブル２２によってオートチューニングコントローラ１００に接続されている。さらにオートチューニングコントローラ１００にはプログラマブルコントローラ等の外部入出力機器が接続されるようパラレル入出力ポートが設けられている。

【００１４】このオートチューニングコントローラ１００にはパーソナルコンピュータ３０がＲＳ２３２Ｃタイプ等の回線ケーブル３２を介して接続されるようになっており、１軸ロボット４０を駆動制御するためのユーザプログラムや、手動制御する場合の駆動指令（所謂ジョグ送り）等をオートチューニングコントローラ１００に供給することができるようになっている。このオートチューニングコントローラ１００内の制御パラメータを自動調整するオートチューニングを実施するためのユーザとのインターフェイスを受け持つ自動調整用プログラムはフロッピーディスク３１もしくはパーソナルコンピュータ３０内のハードディスク等のメモリ媒体に蓄積することができ、パソコン３０によってこのプログラムに起動をかけたり、調整過程のユーザプログラム設定等を行うことが可能である。

【００１５】次にオートチューニングコントローラ１００の詳細な構成について説明する。図２は、オートチューニングコントローラ１００の構成を示すブロック図である。本実施例のオートチューニングコントローラ１００は、インターフェイス部（Ｉ／Ｆ部）１０１、入出力部（Ｉ／Ｏ部）１０２、外部機器指令解読部１０３、Ｉ／Ｏ制御部１０４、位置指令部１０５、オートチューニング部１０６、トルク推定部１０７、位置制御部１０８、速度制御部１０９、電流制御部１１０等を内蔵する。なお、制御対象２００とは、ＡＣサーボモータ２０と、このＡＣサーボモータ２０のモータ軸に取り付けられた負荷とから成る。

【００１６】位置センサ２３は、制御対象２００の実位置を検出する位置検出手段であり、具体的には、ＡＣサーボモータ２０や駆動軸に取り付けられる回転エンコーダを使用することができる。なお、この回転エンコーダは、９０°位相の異なったパルスが発生させることで回転方向を判別することができるとともに、１回転１パルスの出力を得られるようにして原点の判別ができるよう

にしてある。

【0017】入出力部（I/O部）102は、シーケンサ等の外部機器を接続するためのポートであり、その入出力信号はI/O制御部で制御され、外部機器指令解析部103にて解析される。パーソナルコンピュータ30やロボット用操作盤等は、インターフェイス部101を介してオートチューニングコントローラ100に接続され、ジョグ動作指令またはユーザプログラムを、外部機器指令解読部103へ供給する。外部機器指令解読部103は、使用者がパーソナルコンピュータ30やロボット用操作盤等で作成した高級言語、専門言語によるユーザプログラム（制御対象200の動作指令プログラム）をオートチューニングコントローラ100が解釈できる言語または信号に変換し、ある一定サンプリング時間毎に、その時間単位に移動すべき位置の指令（位置指令）を位置指令部105を介して位置制御部108へ与える。位置制御部108は、位置指令部105からある一定サンプリング時間毎に出力される位置指令と、位置センサ23よりフィードバックされる制御対象200の実位置との偏差から、位置制御パラメータである位置ゲイン113を用いてP制御を行い、速度指令を速度制御部109へ与える。位置制御部108には、さらにオートチューニング部106によって制御される切り換えスイッチSW1が設けられており、位置指令部105からの位置指令を直接速度制御部109へ送るルートと、通常の位置ループ制御を行うルートとを切り換えるように構成される。

【0018】速度制御部109は、位置センサ23よりフィードバックされる制御対象200の実位置を微分演算子111によって微分することにより得られる実速度と、位置制御部108より出力される速度指令との偏差が入力され、速度制御部109内のスイッチSW2、SW3にそれぞれ供給される。SW2は、速度制御パラメータの内の2つの速度比例ゲイン114、115を切り換え選択し、SW3は、速度制御パラメータの内の2つの速度積分ゲイン116、117を切り換え選択する。

【0019】これにより、偏差量は、いずれかの速度比例ゲイン、速度積分ゲインを通じてPD制御され、トルク指令を電流制御部110へ与える。電流制御部110は、速度制御部109からのトルク指令を電流指令に変換し、その電流指令と実際にサーボモータへ流れる電流を検出する電流センサ112よりフィードバックされる実電流との偏差から、制御対象200によって予め設定された電流制御パラメータを用いてPI制御を行い、サーボモータへ電流を与える。

【0020】オートチューニング部106は、位置センサ23からフィードバックされる制御対象200の実位置とトルク推定部107で推定される制御対象200における推定トルクが取り込まれて、制御対象200の現状が静止状態にあるか振動状態にあるかを判定し、振動

している場合はその振動周期を検出する。但し、制御対象200が静止状態であるか振動状態であるかを判定するに際して、位置センサ23（回転エンコーダ）の量子誤差を考慮する必要がある。そこで、実速度あるいは推定トルクの振動振幅 $\alpha$ が、予め設定された値より小さい場合は振動していないと判定する。

【0021】さらにオートチューニング部106は、ユーザプログラムを実行中に位置センサ23からフィードバックされる実位置とトルク推定部107で推定される推定トルクを、逐次サンプリング計測し、それらの値から制御状態を判断し、速度制御パラメータである速度比例ゲイン114、115及び速度積分ゲイン116、117、それと位置制御パラメータである位置ゲイン113を決定（調整）する。

【0022】トルク推定部107は、電流制御部110からの実電流から制御対象200の駆動トルク、静止トルクを推定する。次に、速度制御パラメータおよび位置制御パラメータを決定するための本発明におけるオートチューニングの実際の作動を、作業者の操作手順も含め、図3～図5に示すフローチャートに基づいて説明する。

【0023】最初にステップS1において、システムのセットアップを行う。パーソナルコンピュータ30を回線ケーブル32を介してオートチューニングコントローラ100に接続する。パーソナルコンピュータ30には予めオートチューニングを実施するためのプログラムが導入されており、該プログラムを選択実行して、その後、順にパーソナルコンピュータ30の表示画面上に示されるメニューに従って作業者が操作することによりオートチューニングが実施される。

【0024】通常1軸ロボット40が、工場等において繰り返し自動運転で稼働している状態の時は、オートチューニングコントローラ100自身に動作プログラムをダウンロードしているため、パーソナルコンピュータ30は、オートチューニングコントローラ100には接続されておらず別の場所に保管される。次にオートチューニングコントローラ100に電源を投入する。このときACサーボモータ20には別途電源供給有無のスイッチ（図示せず）が設けられており、このスイッチをオフした状態にしておく。これにより電源投入と同時に駆動装置が振動状態となることを防ぐ。

【0025】次にこのACサーボモータ用電源スイッチを入れて、一旦一定量低速で駆動軸を移動させるジョグ送り動作をパーソナルコンピュータ30から指令して駆動させ、システムの大まかな作動状態を目視で確認する。ステップS2において軸パラメータ、サーボパラメータ等の各種パラメータの初期値をオートチューニングコントローラ100側へダウンロードする。これにより位置ゲイン113、速度比例ゲイン114、115、速度積分ゲイン116、117にも所定の初期値が設定さ

れる。

【0026】次にパーソナルコンピュータ30の画面上に示された幾つかの操作メニューの中からオートチューニングのための”自動調整”メニューを選択する。すると画面上には「ラフ調整」、「ファイン調整」、「剛性調整」のメニューが表示される。「ラフ調整」、「ファイン調整」は、位置制御パラメータ、速度制御パラメータの自動調整を実行する2種類のモードであり、「剛性調整」は、制御対象の剛性を、低応答、中応答、高応答の3段階に選択できるものであり、いずれかをステップS4にて選択する。予め剛性が高いことが判っている場合は剛性を「高応答」とすることにより、調整の初期段階から制御パラメータの調整幅を小さくし、より早い自動調整が行える。

【0027】「ラフ調整」、「ファイン調整」の各モードにおける詳細な調整方法については後に説明するが、ラフ調整モードは、各制御パラメータをジョグ送り動作に対する大まかな範囲でのゲイン調整を行うものであり、ファイン調整モードは、ロボットの動作プログラムを実際に作動させ、その作動全体において最適なゲインになるよう調整を行うものである。

【0028】このように2つの調整モードを設けるのは、調整段階の最初から精度の高いゲイン調整を行おうとした場合、最適なゲイン値が求まる迄に時間が掛かってしまうのを避けるためと、ある作業中、一定の範囲内、もしくは特定の動作のときだけの、ゲインを調整したい場合があり、このような時は単一動作の調整ができるモードが必要な為などがあげられる。

【0029】次に「ラフ調整」モードが選択された場合の作動について説明する。ステップS5において画面上のメニューよりラフ調整モードが選択されると、ステップS6において初期動作を行う。これは、ある少量の軸移動をジョグ送りと同じように移動駆動させるものであり、この時に、負荷イナーシャの推定と速度ループゲインの調整が行われる。即ち、初期動作が選択されると、オートチューニング部106はスイッチSW1、SW2、SW3をそれぞれ接点1a、1b、1c側に倒す。これにより、位置指令部105より位置制御部108に送られた位置指令は、位置ループゲイン113を通らずに、そのまま、速度指令として、速度制御部109へ送られる所謂オープンループ制御状態とする(ステップS7)。

【0030】この状態で、ステップS2において設定された速度制御パラメータの初期値を用いて軸移動を行い(ステップS8)、移動中の加減速トルク、加減速時間等をトルク推定部107及びオートチューニング部106が、電流制御部110、位置センサ23のフィードバック信号により求め、それらの値からオートチューニング部106において負荷トルク及び負荷イナーシャを推定する(ステップS9)。

【0031】次に推定された負荷トルク及び負荷イナーシャから位置及び速度制御パラメータを計算により求め、位置ゲイン113及び各速度制御ゲイン114、115、116、117、(この時114と115には同じ値を、また116と117にも同じ値を設定する。)に設定する。さらに移動が終了した位置において、制御対象200が振動せず静止するよう速度比例ゲイン114、速度積分ゲイン116を、オートチューニング部106により自動調整する(ステップS100)。即ち位置センサ23からの信号をオートチューニング部106に取り込み、実速度の振動振幅 $\alpha$ と、ピーク値の周期から振動周波数 $x$ を算出する(ステップS101)。

【0032】続いて、オートチューニング部106により、制御対象200の現状が静止状態であるのか振動しているのかを判定する。この判定は、実速度(あるいは実位置)の振動振幅 $\alpha$ が、予め設定された値より小さい場合は振動していないと判定し、振動振幅 $\alpha$ が、予め設定された値以上の場合は振動状態であると判定する。

(ステップS102)

続いて、ステップS102の判定結果がYESの場合、つまり制御対象200が振動状態であると判定された場合は、あるサンプリング時間の周波数 $f_s$ に対して振動周波数 $x$ が一定の割合より小さいか否かを判定する(ステップS103)。この判定結果がYESの場合、つまり振動周波数 $x$ が周波数 $f_s$ に対して一定の割合より小さい場合( $x/f_s < A$ )は、実速度の振動振幅 $\alpha$ が設定された値以下になるまで(ステップS102で静止状態であると判定されるまで)、オートチューニング部106で速度制御パラメータ114、116を徐々に小さくしていく(ステップS105)。

【0033】また、ステップS103の判定結果がNOの場合、つまり、振動周波数 $x$ が周波数 $f_s$ に対して一定の割合以上の場合( $x/f_s \geq A$ )は、実速度の振動振幅 $\alpha$ が設定された値以下になるまで(ステップS102の判定手段で静止状態であると判定されるまで)、オートチューニング部106で速度制御パラメータを徐々に小さくしていく(ステップS104)。

【0034】上記ステップS102の判定結果がNOの場合、つまり制御対象200が静止状態であると判定された場合は、そのときのオートチューニング部106で決定された速度制御パラメータ114、116を、速度制御部109で用いられる速度制御パラメータとして更新し、位置制御部108内のスイッチSW1を接点1b側に倒し、通常の制御ループ状態に戻して初期動作を終了する(ステップS10)。

【0035】次に、パーソナルコンピュータ30よりジョグ動作を指令する(ステップS11)。このジョグ動作指令は外部機器指令解読部103を通じて位置指令部105に送られ、位置指令部105より位置指令が位置制御部108に送られることにより軸移動を実施する。

この移動の間オートチューニング部 1 0 6 は、サンプリング時間毎に位置センサ 2 3 からフィードバックされる制御対象の実位置及び、トルク推定部 1 0 7 からの推定トルク値等の各種データを計測し、外部機器指令解読部 1 0 3 の指令状態から、指令位置に対するオーバーシュート、アンダーシュート量、制御対象 2 0 0 の負荷トルク、加減速時の加減速トルク及び加減速時間等を算出する（ステップ S 1 2）。

【0 0 3 6】続いて、「ラフ調整」においては、ステップ S 1 3 に進み、ステップ S 1 2 において計測、算出された種々のデータが、いくつかの判定条件に合致しているかどうかを判定する。判定する内容としては、判定 1. 位置のオーバーシュート（一つの動作パターンの最終目的地をインポジション以上に行き過ぎること）があるか。

判定 2. 制御対象停止時に振動していないか。

判定 3. 速度のオーバーシュート及びアンダーシュートが 1 0 % 以下であるかがあげられる。

【0 0 3 7】以上の判定結果により、すべての条件が満足した場合は調整完了を画面上に表示し（ステップ S 1 6）、少なくともいづれか一つの条件が満足しなかった場合は、未完了として画面に表示される。未完了の場合で再度計測調整を行いたい場合は、パーソナルコンピュータ 3 0 の画面上のメニューより再度ジョグ動作を指定して、前述と同様な動作を実施する。この時、ステップ S 1 4 にて動作の繰り返し数が、所定回数 N 回以下であるかどうかを判定し、N 回以下であれば、以下のルールに従って制御パラメータを調整し（ステップ 1 5）のち、再び動作を実行する。

【0 0 3 8】ルール 1. オーバーシュートが 1 0 % 以上で、減衰比が 0. 2 以上の場合、速度比例ゲイン、速度積分ゲインを一定則に従って上げる。

ルール 2. オーバーシュートが 1 0 % 以上で、減衰比が 0. 2 以下の場合、位置ゲインを下げる。

ルール 3. 判定 2（制御対象停止時に振動していないか）が満足しない場合、速度比例ゲイン、速度積分ゲインを一定則に従って下げる。

【0 0 3 9】もし N 回以内に上記判定が満たされなければ、調整未完了を、その理由（即ち上述のいずれの判定条件に合致していないのか）とともに画面に表示し（ステップ S 1 8）、「ラフ調整」を終了する。次に「ファイン調整」モードの作動について説明する。「ラフ調整」が完了し、各データが画面上に表示された（ステップ S 1 6）のち、「ファイン調整」を実行するかどうかを判断し（ステップ S 1 7）、「ファイン調整」モードを選択する場合は、ステップ S 5 へ進み、「ファイン調整」モードを選択する。「ファイン調整」モードが選択されると、パーソナルコンピュータ 3 0 上で自動調整の必要な動作プログラムを読み出し、その動作プログラムの目標サイクル時間と、その余裕度を設定する（ステッ

プ S 2 0 0）。図 6（a）は、設定された動作プログラムの指令速度の状態を示す図である。横軸を時間軸とし、縦軸が速度を表す。図 6（a）において区間 A、B、C、D、E でプログラムの 1 サイクルを成し、C 及び E においては停止区間となる。また、余裕度とは、目標時間に対しどれだけマイナスしてもよいかを目標時間に対する % で設定するものである。

【0 0 4 0】次にステップ S 2 0 0 で設定された値をオートチューニングコントローラ 1 0 0 にダウンロードする（ステップ S 2 0 1）。この状態でプログラムを動作させ、（ステップ 1 1）、「ラフ調整」と同様、指令位置に対するオーバーシュート、アンダーシュート量、制御対象 2 0 0 の負荷トルク、加減速時の加減速トルク及び加減速時間、サイクル時間、振幅減衰比等を算出する（ステップ S 1 2）。

【0 0 4 1】次に、これら算出された値から駆動軸が、垂直軸であるかどうかを判定する（ステップ S 2 0 2）。即ちモータ起動時（サイクル起動時）及び図 6

（a）の区間 C、E の制御対象停止時における静止トルクがモータの定格トルクの所定のトルク  $T_a$  以上であれば、オートチューニング部 1 0 6 は、垂直軸であると判断し、速度比例ゲイン 1 1 4、1 1 5 にそれぞれ違う値を、また速度積分ゲイン 1 1 6、1 1 7 へもそれぞれ違う値を設定する（ステップ S 2 0 5）。

【0 0 4 2】これらゲインの切り換え制御方法について説明する。例えば図 7 に示すようにオートチューニング部 1 0 6 によって重力方向（下方向）の加速時と反重力方向（上方向）の減速時に速度比例ゲイン 1 1 4 及び速度積分ゲイン 1 1 6 で制御されるようスイッチ SW 2、SW 3 をそれぞれ接点 2 a、3 a 側へ切り換え、重力方向（下方向）の減速時及び移動中、それと反重力方向（上方向）の加速時に速度比例ゲイン 1 1 5 及び速度積分ゲイン 1 1 7 で制御されるようスイッチ SW 2、SW 3 をそれぞれ接点 2 b、3 b 側へ切り換える。これにより、垂直軸のような移動方向によって負荷変動が激しい場合においてそれぞれに適切なゲインで制御することができる。

【0 0 4 3】つぎにステップ S 2 0 2 で垂直軸でないと判断した場合、ステップ S 2 0 3 にて負荷変動があるかどうかを判断する。即ち図 6（a）における各移動中の区間 A、B、D において、加速トルクと減速トルクとの差が AC サーボモータ 2 0 の定格トルクの所定のトルク  $T_b$  以上であれば、負荷大と判断し、上記トルク差が  $T_b$  以上のものと、 $T_b$  以下のものと区別し、速度比例ゲイン 1 1 4、1 1 5 にそれぞれ違う値を、また速度積分ゲイン 1 1 6、1 1 7 へもそれぞれ違う値を設定する（ステップ S 2 0 5）。これにより、たとえば、重量物を搭載して移動している区間の場合は、トルク  $T_b$  以上の場合に設定した速度比例ゲイン 1 1 4 及び速度積分ゲイン 1 1 6 で制御されるようスイッチ SW 2、SW 3 を

それぞれ接点 2 a, 3 a 側へ切り換え、からの状態で移動している区間の場合は速度比例ゲイン 1 1 5 及び速度積分ゲイン 1 1 7 で制御されるようスイッチ SW 2, SW 3 をそれぞれ接点 2 b, 3 b 側へ切り換え、それぞれ最適な制御パラメータで制御することができる。

【0044】ステップ S 2 0 3 において、いずれの区間においても、所定のトルク T b 以上の場合がなかった場合は、各速度比例ゲイン 1 1 4, 1 1 5 には同じ値を設定し、同様に各速度積分ゲイン 1 1 6, 1 1 7 へも、それぞれ同じ値を設定する。(ステップ S 2 0 4)

次に、ステップ S 1 2 において計測された値が、各判定条件に合致しているかを判定する(ステップ S 1 3)。

【0045】この時の判定条件としては、「ラフ調整」時の判定条件に加え、

判定 4. AC サーボモータの指令最高回転速度の 1 0 % から 9 0 % に達する時間(立ち上がり時間)が計算されたある所定値 t a より短いか、また AC サーボモータの指令最高回転速度の 9 0 % から 1 0 % に達する時間(立ち下がり時間)が計算されたある所定値 t b より短いか  
判定 5. サイクル時間が指定した目標値以下かを判定する。

【0046】これらの判定条件を満足しなければ、ステップ S 1 4 へ進み、動作プログラムの繰り返し回数が N 回以下かどうかを判定し(ステップ S 1 4)、N 回以下であれば、以下のルールに従ってパラメータを調整する。(ステップ S 1 5)

ルール 1. 判定 4 (立ち上がり時間が t a 以下、立ち下がり時間が t b 以下)が満足しない場合、位置ゲインをあげる。

【0047】ルール 2. オーバershoot が 1 0 % 以上で、減衰比が 0. 2 以上の場合、速度比例ゲイン、速度積分ゲインを一定則に従って上げる。

ルール 3. オーバershoot が 1 0 % 以上で、減衰比が 0. 2 以下の場合、位置ゲインを下げる。

ルール 4. 判定 2 (制御対象停止時に振動していないか)が満足しない場合、速度比例ゲイン、速度積分ゲインを一定則に従って下げる。

【0048】ルール 5. インポジションに入る時間が長い(目標サイクル時間を越える)場合、速度比例ゲイン、速度積分ゲインを一定則に従って上げる。

また、位置ゲイン 1 1 3 は、サイクル調整が繰り返される毎に値を徐々に上げていくが、ある値以上上げても実速度の加速減速の傾きが上がらない場合は、現傾きを保持するための最小の値を位置ゲイン 1 1 3 とする。この調整は、上記ルールと平行して行われるので、例えばルール 3 の調整と重なった場合は、位置ゲインはその調整方向が相殺されるため、かわらないこととなる。

【0049】そして、すべての判定条件が満足した場合は調整完了を画面上に表示し(ステップ S 1 6)、また動作プログラムを N 回繰り返してもいづれかの判定条件

が満足しなかった場合は、未完了として画面に表示され(ステップ S 1 8)、終了する。図 6 (a)、(b)に、ユーザプログラムの指令速度とその時の実速度の状態を示し、図 6 (c)、(d)にファイン調整後の指令速度とその実速度の状態を示す。図 6 (b)においては、自動調整前の段階でサイクル時間目標値をオーバーしている。そして自動調整後、各ゲインが最適値に調整されることによって各移動区間 A, B, D が短縮され全体としてサイクル時間が短くなり、目標値以内に指令速度が設定され(図 6 (c))、かつ実際の動作も目標値以内となっている。(図 6 (d))。なお、移動停止区間である区間 C 及び D においては、その停止時間は、各作業に必要な最低の時間であるため、この時間は最初の動作プログラムの設定値のままとしてある。

【0050】また、「ファイン調整」は、前述のように「ラフ調整」を実施したあとに行ってもよいし、最初から「ファイン調整」モードを選択して実行してもよい。その場合、ラフ調整で行われた初期動作(ステップ S 6 ~ ステップ S 1 0)は、行われず、ステップ S 2 においてダウンロードされた初期値に基づいて一旦作動したのち、最初の動作プログラムの動作中における計測からシステムの負荷トルク及び負荷イナーシャを推定し、この推定値に基づいて計算された値が設定され、以下「ファイン調整」を実行する。

【0051】[その他の実施例] オートチューニング部 1 0 6 は、オートチューニングコントローラ 1 0 内に設けられているが、別途設置するようにしてもよい。また、本実施例においては、1 軸移動型のロボットを制御するものに適用したが、ロボットに限らず、工作機械、組立機械、搬送装置等の駆動制御においても適用できる。

【0052】トルク推定部 1 0 7 は、電流センサ 1 1 2 よりフィードバックされる実電流のみでトルクを推定したが、位置センサ 2 3 からの実位置を直接取り込み、AC サーボモータ 2 0 の現在の電気角と電流センサ 1 1 2 からの実電流とにより、制御対象 2 0 0 を静止するために必要なトルクを推定するようにしてもよい。なお、このトルクは、下記の数式に基づいて演算することができる。

【0053】

$$\text{【数 1】 } TRQ = KT \times ia / \sin \theta$$

但し、TRQ = 推定トルク、KT = トルク定数、ia = 実電流、θ = モータ電気角である。また、本実施例では、実速度および実位置の振動より速度制御パラメータおよび位置制御パラメータの最適値を求めたが、各段階においてトルク推定部 1 0 7 で得られるデータに基づいて、トルクのリップルを求め、このリップルが最小となるように、速度制御パラメータおよび位置制御パラメータを決定することも可能である。

【0054】また、本実施例において、「ラフ調整」モ

13

一ドの場合、垂直軸、負荷変動の有無は判定されなかったが、ジョグ動作を、正負両方向実施して、そのときの作動状態から、ファイン調整モードと同様に垂直軸、負荷変動有無の判定をし、それらに対応した速度制御パラメータを設定することも可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】オートチューニングコントローラにより制御されるシステムの全体構成を示す図である。

【図 2】オートチューニングコントローラ 100 の構成を示すブロック図である。

【図 3】本実施例の作動を示すフローチャートである。

【図 4】本実施例の作動を示すフローチャートである。

【図 5】本実施例の作動を示すフローチャートである。

【図 6】(a)、(b)は、ユーザプログラムの指令速度とその時の実速度の状態を示す図であり、(c)、(d)はファイン調整後の指令速度とその実速度の状態を示す図である。

【図 7】垂直軸において速度制御パラメータを切り換え

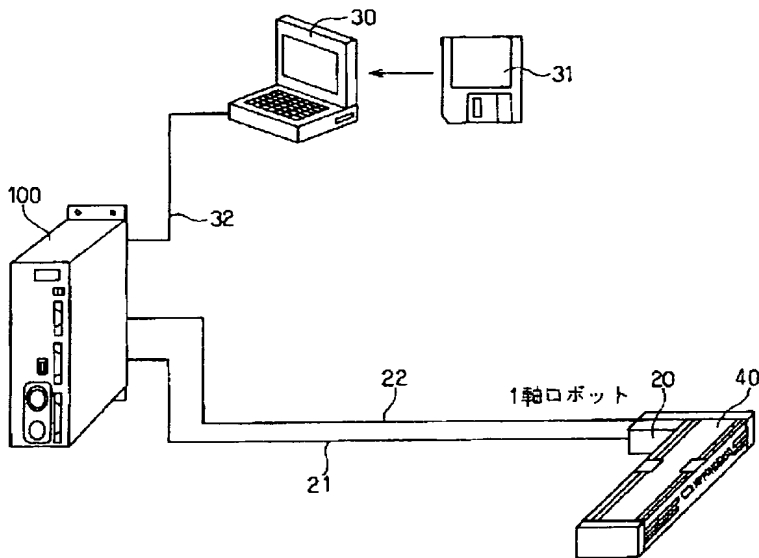
14

制御した場合の速度制御状態を示す図である。

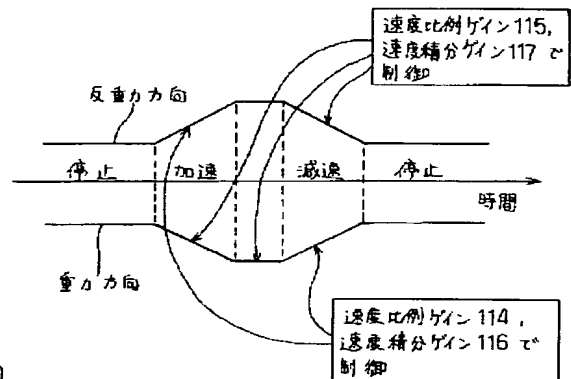
#### 【符号の説明】

- 20 ACサーボモータ
- 23 位置センサ
- 30 パーソナルコンピュータ
- 40 1軸ロボット
- 100 オートチューニングコントローラ
- 103 外部機器指令解読部
- 105 位置指令部
- 106 オートチューニング部
- 107 トルク推定部
- 108 位置制御部
- 109 速度制御部
- 110 電流制御部
- 113 位置ゲイン
- 114、115 速度比例ゲイン
- 116、117 速度積分ゲイン
- 200 制御対象

【図 1】



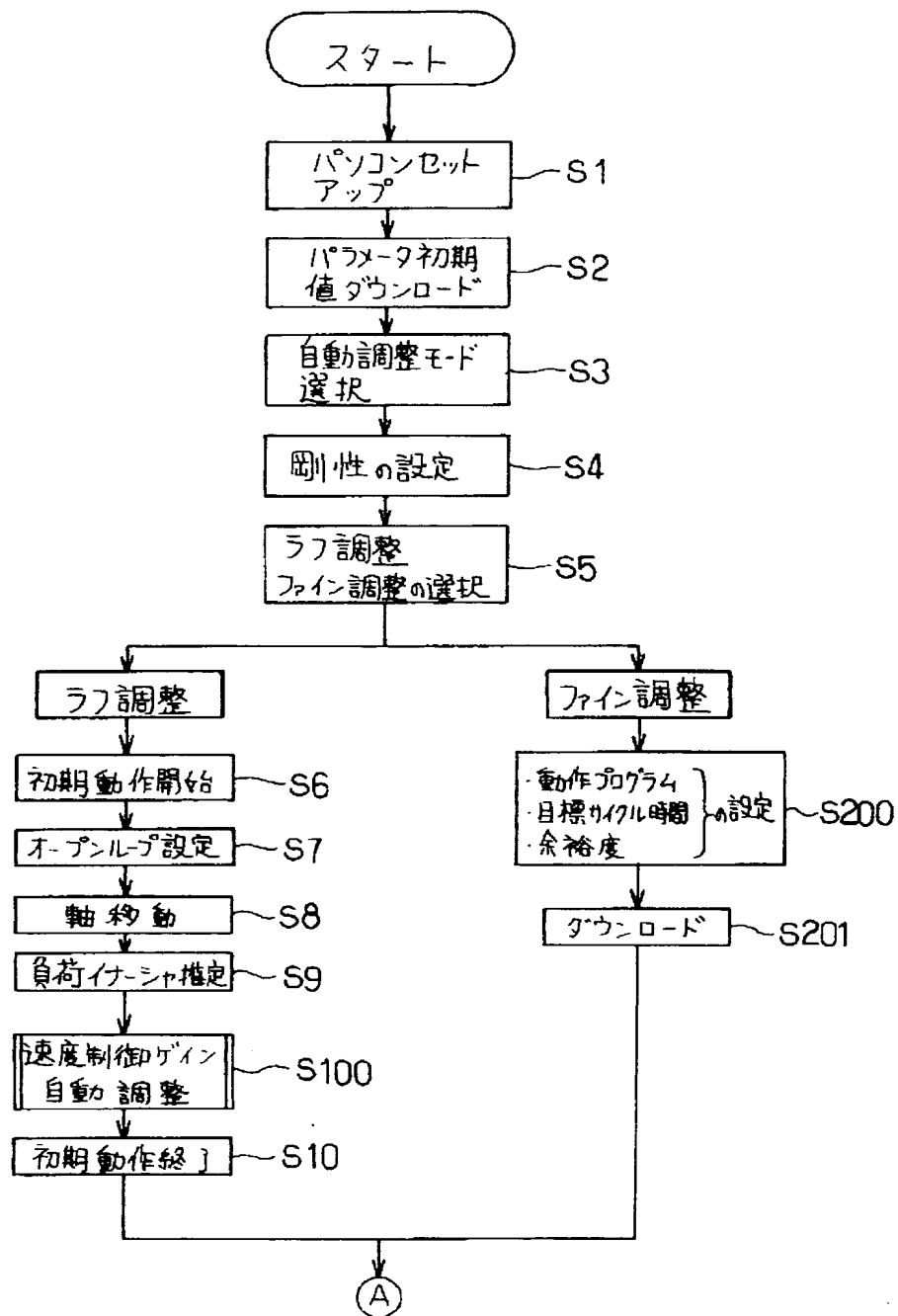
【図 7】



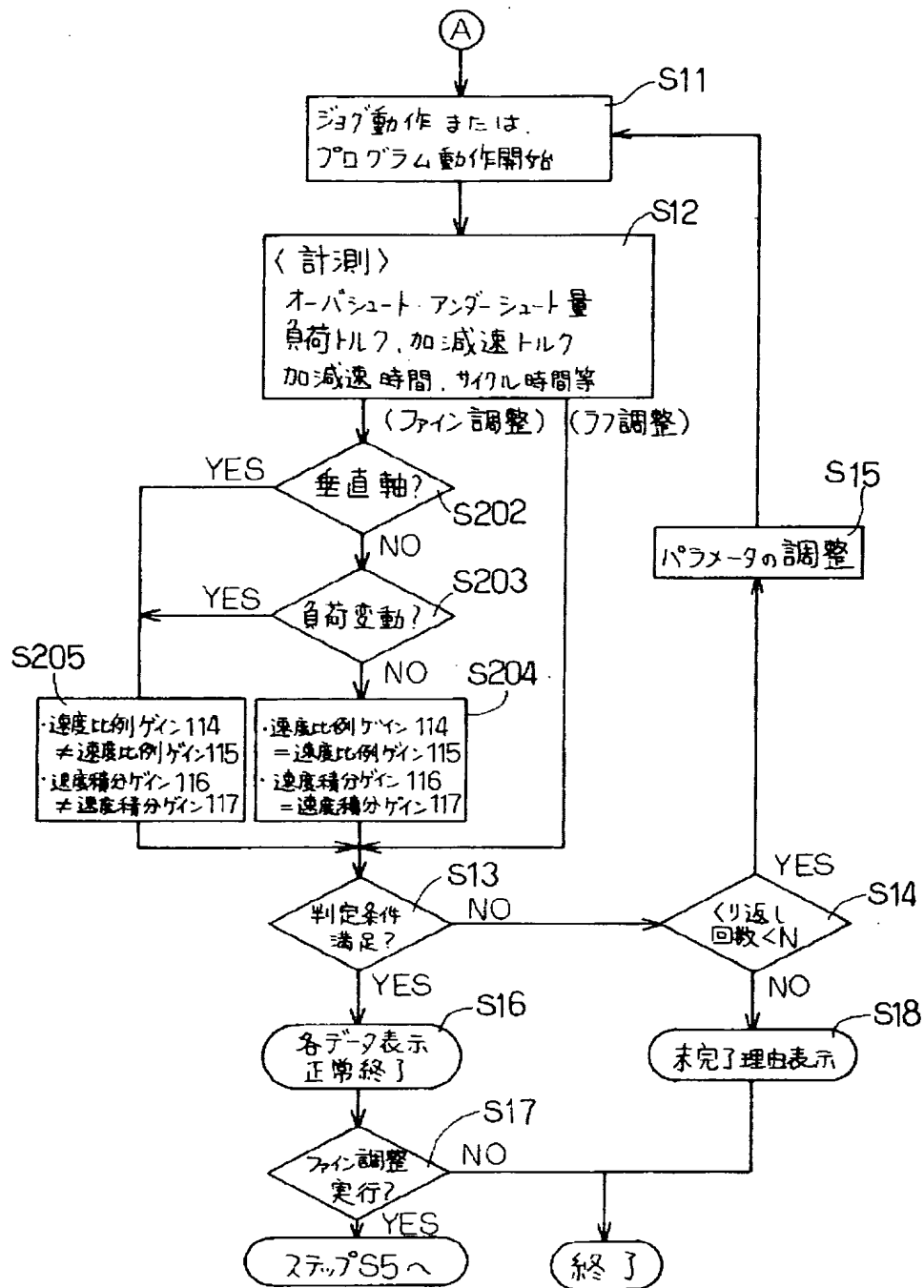




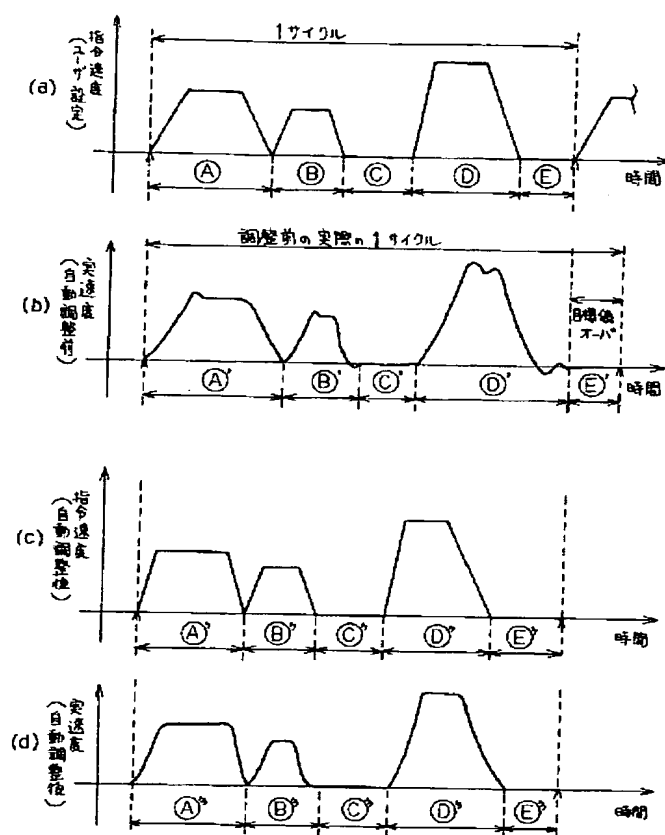
【図 3】



【図5】



【図 6】



フロントページの続き

(58) 調査した分野(Int. Cl.<sup>6</sup>, DB名)

G05B 11/00 - 13/04

B65G 43/00

G05B 19/407

G05D 3/12